

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-313734

(43)Date of publication of application : 29.11.1996

(51)Int.Cl.

G02B 6/00  
G02B 6/00  
B29C 47/30  
B29D 11/00  
G02B 6/18  
// B29K 33:00

(21)Application number : 07-117190

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 16.05.1995

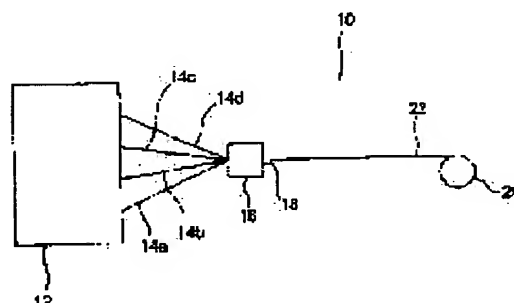
(72)Inventor : NONAKA TAKESHI  
MATSUDA HIROO

## (54) PRODUCTION OF PLASTIC OPTICAL FIBER

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a process for easily producing a plastic optical fiber having low transmission loss with good productivity by embodying desired refractive indices.

CONSTITUTION: Plural homopolymers varying in refractive indices are discharged from the plural nozzles arranged on plural concentric circles into an extrusion die 18 of an extrusion molding machine 16 in such a manner that one kind of the homopolymer corresponds to every nozzle on the respective concentric circles, by which the plastic optical fiber 22 consisting of a fiber-like core which is formed by tightly enclosing plural resin layers having the different refractive indices in order of the resins of the higher refractive indices from the central axis toward the outer side of the radial direction and has the refractive index distribution of the refractive indices decreasing from the center toward the outer side of the radial direction and a clad part which is clad on the outer side of the core and has the refractive index lower than the refractive index in the central part of the core. The respective resin layers of the core described above are formed of the resins consisting of one kind of the respective different homopolymers. The extrusion die 18 may be of a form having plural groove-like discharge holes formed to a concentric shape.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-313734

(43) 公開日 平成8年(1996)11月29日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 6/00	3 6 6 3 9 1		G 0 2 B 6/00	3 6 6 3 9 1
B 2 9 C 47/30		9349-4F	B 2 9 C 47/30	
B 2 9 D 11/00		7726-4F	B 2 9 D 11/00	
G 0 2 B 6/18			G 0 2 B 6/18	

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平7-117190

(22) 出願日 平成7年(1995)5月16日

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 野中 毅

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 松田 裕男

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

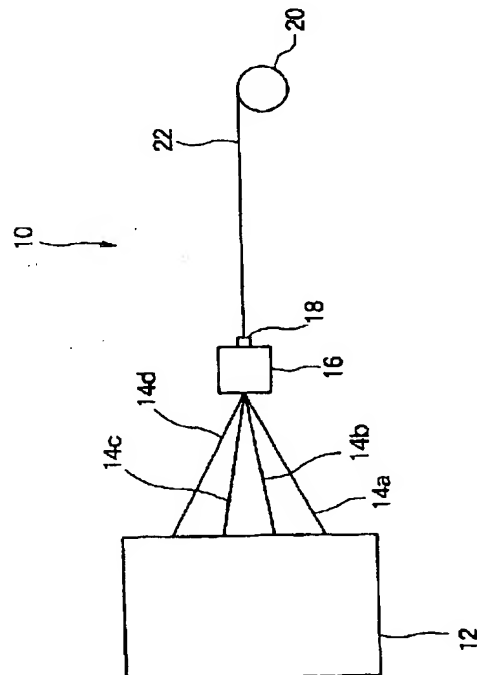
(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54) 【発明の名称】 プラスチック光ファイバの製造方法

(57) 【要約】

【目的】 所望の屈折率を実現し、伝送損失の低いプラスチック光ファイバを簡便に生産性良く製造する方法を提供することを目的とする。

【構成】 押出し成形機の押出しダイに複数の同心円上に配置された複数のノズルから、屈折率の異なる複数のホモポリマーを各同心円上のノズル毎に1種のホモポリマーが対応するように吐出させて、異なる屈折率を有する複数の樹脂層が中心軸から半径方向外側に向かって屈折率の高い樹脂層の順に密着包囲して形成され中心から半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するファイバ状のコアと、コアの外側に被覆されコアの中心部の屈折率よりも低い屈折率を有するクラッド部とから成り、コアの各樹脂層が、それぞれ異なる1種類のホモポリマーから成る樹脂で形成されるプラスチック光ファイバを形成することを特徴とする。押出しダイは、同心円状に形成された複数の溝状の吐出孔を有する形態であってもよい。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 押出し成形機の押出しダイに複数の同心円上に配置された 1 つ以上のノズルから、屈折率の異なる複数のホモポリマーを各同心円上のノズル毎に 1 種のホモポリマーが対応するように吐出させて、異なる屈折率を有する複数の樹脂層が中心軸から半径方向外側に向かって屈折率の高い樹脂層の順に密着包囲して形成され中心から半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するファイバ状のコアと、前記コアの外側に被覆され前記コアの中心部の屈折率よりも低い屈折率を有するクラッド部とから成り、前記コアの各前記樹脂層が、それぞれ異なる 1 種類のホモポリマーから成る樹脂で形成されるプラスチック光ファイバを形成することを特徴とするプラスチック光ファイバの製造方法。

【請求項 2】 押出し成形機の押出しダイに同心円状に形成された複数の溝状の吐出孔から、屈折率の異なる複数のホモポリマーを各吐出孔毎に 1 種のホモポリマーが対応するように吐出させて、異なる屈折率を有する複数の樹脂層が中心軸から半径方向外側に向かって屈折率の高い樹脂層の順に密着包囲して形成され中心から半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するファイバ状のコアと、前記コアの外側に被覆され前記コアの中心部の屈折率よりも低い屈折率を有するクラッド部とから成り、前記コアの各前記樹脂層が、それぞれ異なる 1 種類のホモポリマーから成る樹脂で形成されるプラスチック光ファイバを形成することを特徴とするプラスチック光ファイバの製造方法。

【請求項 3】 前記コアの各前記樹脂層を成す各前記ホモポリマーが、前記樹脂層毎に同一又は相異なるホモポリマーである第 1 のポリマーの水素を原子又は官能基で置換して炭素-水素 (C-H) 結合の分子内に含まれる比率を減少させたホモポリマーである第 2 のポリマーであることを特徴とする請求項 1 又は 2 のいずれかに記載のプラスチック光ファイバの製造方法。

【請求項 4】 前記原子がハロゲンであることを特徴とする請求項 3 に記載のプラスチック光ファイバの製造方法。

【請求項 5】 前記第 1 のポリマーが、各前記樹脂層毎に同一であることを特徴とする請求項 3 又は 4 のいずれかに記載のプラスチック光ファイバの製造方法。

【請求項 6】 前記ハロゲンが弗素 (F) であり、且つ、前記複数の樹脂層が、中心軸から半径方向外側に向かって、前記第 2 のポリマーの弗素の含有率が小さな順に密着包囲して前記コアが形成されていることを特徴とする請求項 4 又は 5 のいずれかに記載のプラスチック光ファイバの製造方法。

【請求項 7】 前記ハロゲンが、塩素 (Cl) と、臭素 (Br) と、ヨウ素 (I) とから成る群より 1 つ選択され、且つ、前記複数の樹脂層が、中心軸から半径方向外側に向かって、前記第 2 のポリマーの前記ハロゲンの含

有率が大きな順に密着包囲して前記コアが形成されていることを特徴とする請求項 4 又は 5 のいずれかに記載のプラスチック光ファイバの製造方法。

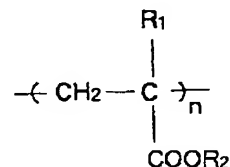
【請求項 8】 前記ハロゲンが、塩素 (Cl) と、臭素 (Br) と、ヨウ素 (I) とから成る群より 2 つ以上選択され、且つ、前記複数の樹脂層が、中心軸から半径方向外側に向かって、前記第 2 のポリマーの前記ハロゲンの合計の含有率が大きな順に密着包囲して前記コアが形成されていることを特徴とする請求項 4 又は 5 のいずれかに記載のプラスチック光ファイバの製造方法。

【請求項 9】 前記コアの最外部の屈折率が前記クラッドの屈折率よりも低いことを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載のプラスチック光ファイバの製造方法。

【請求項 10】 前記ハロゲンが弗素 (F) である前記ホモポリマーから成る樹脂層と、前記ハロゲンが、塩素 (Cl) と、臭素 (Br) と、ヨウ素 (I) とから成る群より選択される前記ホモポリマーから成る樹脂層とから前記コアが形成されることを特徴とする請求項 9 に記載のプラスチック光ファイバの製造方法。

【請求項 11】 前記第 1 のポリマーが、化 1 の一般式で表されることを特徴とする請求項 5、6 又は 7 のいずれかに記載のプラスチック光ファイバの製造方法。

## 【化 1】

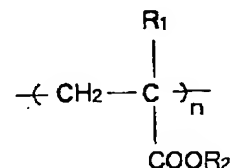


〔R<sub>1</sub> は、水素とメチルとから成る群より選択される原子又は官能基であり、

R<sub>2</sub> は、メチルと、エチルと、プロピルと、ブチルと、三級ブチルと、ペンチルと、ヘキシルと、シクロヘキシルと、イソボロニルと、アダマンチルとから成る群より選択される官能基である。〕

【請求項 12】 前記コアの各前記樹脂層が、化 2 の一般式で表されるホモポリマーである前記第 2 のポリマーから成ることを特徴とする請求項 3 に記載のプラスチック光ファイバの製造方法。

## 【化 2】



〔R<sub>1</sub> は、水素とメチルとから成る群より選択される原子又は官能基であり、

R<sub>2</sub> は、炭素数 1 ~ 20 の、直鎖アルキル、分枝アルキ

ル又は環状アルキルである。]

【請求項13】 前記複数の樹脂層が、前記第2のポリマーを中心軸から半径方向外側に向かって前記R<sub>2</sub>の前記炭素数の大きな順に用いた複数の樹脂層で前記コアが形成されていることを特徴とする請求項12に記載のプラスチック光ファイバの製造方法。

【請求項14】 前記化2の一般式で表されるホモポリマーの水素が弗素で更に置換された前記第2のポリマーを、中心軸から半径方向外側に向かって弗素含有率が小さな順に且つ前記R<sub>2</sub>の炭素数が同一又は大きな順に用いた複数の樹脂層で前記コアが形成されていることを特徴とする請求項12に記載のプラスチック光ファイバの製造方法。

【請求項15】 前記化2の一般式で表されるホモポリマーの水素が、塩素と、臭素と、ヨウ素から成る群より選択された原子で更に置換された前記第2のポリマーを、中心軸から半径方向外側に向かって前記原子の含有率の大きな順に且つ前記R<sub>2</sub>の分子量が同一又は大きな順に用いた複数の樹脂層で前記コアが形成されていることを特徴とする請求項12に記載のプラスチック光ファイバの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、プラスチック光ファイバに関する。

【0002】

【従来の技術】コア及びクラッド部が共にプラスチックであるプラスチック光ファイバは、ガラスファイバに比べ加工や取扱いが容易なため、その伝送損失が実質的に問題にされない程度に短距離の光伝送路等として現在多用されており、例えば電子装置間の光信号の送受等に用いられているが、将来、LAN、ISDN等の次世代通信網構想の中で重要な高速伝送媒体たる役割を担うことが期待されている。

【0003】既に実用化されているプラスチック光ファイバは、図7に示すような階段状に変化する屈折率分布を有するステップインデックス型(SI型)のプラスチック光ファイバであるが、これは伝送帯域が小さいために伝送容量が少く、高速伝送媒体等の通信用には適していない。図5に示すような半径方向に変化するコア屈折率分布を有するグレーデッドインデックス(GI)型のプラスチック光ファイバの方が、LAN等の通信用途に適しており、ファイバの伝送帯域を広げることにより更に伝送容量が大きくなる。このとき、伝送容量を大きくするためには、滑らかな曲線状の屈折率分布を得ることが理想的であるが、図5のような階段状の屈折率分布でも充分な伝送容量を得ることができる。

【0004】特開平6-186441には、2重同心円状の吐出孔を有する紡出口金の外側と内側の吐出孔から、重合体とモノマーと屈折率上昇剤の混合物を吐出さ

せてロッド状とした後に重合及び拡散を行い、中心から半径方向外側へ向かって滑らかな屈折率分布をもつプラスチック光ファイバを作製する方法が開示されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記文献の製造方法では、屈折率上昇剤を用いているために起因する幾つかの問題点がある。屈折率上昇剤に重合性の官能基を有する化合物を用いた場合、作製されたプラスチック光ファイバのポリマー中にブロックポリマーが存在する傾向があり、この場合は光散乱を生じて伝送損失が低下する。一方、重合性を有しない屈折率上昇剤を用いれば、このような屈折率上昇剤が可視光領域で吸収をもつため、伝送損失を損ねてしまう。また、上記文献では、滑らかな屈折率分布を得るために、重合時に屈折率上昇剤を拡散させているが、このことが重合時間を著しく延長し、量産化を考えれば有利ではない。

【0006】本発明は、上記問題点に鑑みてなされたものであり、所望の屈折率を実現し、伝送損失の低い優れたプラスチック光ファイバを、生産性良く提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明のプラスチック光ファイバの製造方法は、押出し成形機の押出しダイに複数の同心円上に配置された複数のノズルから、屈折率の異なる複数のホモポリマーを各同心円上のノズル毎に1種のホモポリマーが対応するように吐出させて、異なる屈折率を有する複数の樹脂層が中心軸から半径方向外側に向かって屈折率の高い樹脂層の順に密着包囲して形成され中心から半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するファイバ状のコアと、コアの外側に被覆されコアの中心部の屈折率よりも低い屈折率を有するクラッド部とから成り、コアの各樹脂層が、それぞれ異なる1種類のホモポリマーから成る樹脂で形成されるプラスチック光ファイバを形成することを特徴とする。

【0008】また、本発明のプラスチック光ファイバの製造方法は、押出し成形機の押出しダイに同心円状に形成された複数の溝状の吐出孔から、屈折率の異なる複数のホモポリマーを各吐出孔毎に1種のホモポリマーが対応するように吐出させて、異なる屈折率を有する複数の樹脂層が中心軸から半径方向外側に向かって屈折率の高い樹脂層の順に密着包囲して形成され中心から半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するファイバ状のコアと、コアの外側に被覆されコアの中心部の屈折率よりも低い屈折率を有するクラッド部とから成り、コアの各樹脂層が、それぞれ異なる1種類のホモポリマーから成る樹脂で形成されるプラスチック光ファイバを形成することを特徴としてもよい。

【0009】また、本発明のプラスチック光ファイバの製造方法は、コアの各樹脂層を成す各ホモポリマーが、樹脂層毎に同一又は相異なるホモポリマーである第1の

ポリマーの水素を原子又は官能基で置換して炭素-水素 (C-H) 結合の分子内に含まれる比率を減少させたホモポリマーである第2のポリマーであることを特徴としてもよい。

【0010】また、本発明のプラスチック光ファイバの製造方法は、原子がハロゲンであることを特徴としてもよい。

【0011】また、本発明のプラスチック光ファイバの製造方法は、第1のポリマーが、各樹脂層毎に同一であることを特徴としてもよい。

【0012】また、本発明のプラスチック光ファイバの製造方法は、ハロゲンが弗素 (F) であり、且つ、複数の樹脂層が、中心軸から半径方向外側に向かって、第2のポリマーの弗素の含有率が小さな順に密着包囲してコアが形成されていることを特徴としてもよい。

【0013】また、本発明のプラスチック光ファイバの製造方法は、ハロゲンが、塩素 (Cl) と、臭素 (Br) と、ヨウ素 (I) とから成る群より1つ選択され、且つ、複数の樹脂層が、中心軸から半径方向外側に向かって、第2のポリマーのハロゲンの含有率が大きな順に密着包囲してコアが形成されていることを特徴としてもよい。

【0014】また、本発明のプラスチック光ファイバの製造方法は、ハロゲンが、塩素 (Cl) と、臭素 (Br) と、ヨウ素 (I) とから成る群より2つ以上選択され、且つ、複数の樹脂層が、中心軸から半径方向外側に向かって、第2のポリマーのハロゲンの合計の含有率が大きな順に密着包囲してコアが形成されていることを特徴としてもよい。

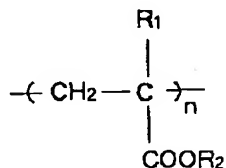
【0015】コアの最外部の屈折率がクラッドの屈折率よりも低いことを特徴としてもよい。

【0016】また、本発明のプラスチック光ファイバの製造方法は、ハロゲンが弗素 (F) であるホモポリマーから成る樹脂層と、ハロゲンが、塩素 (Cl) と、臭素 (Br) と、ヨウ素 (I) とから成る群より選択されるホモポリマーから成る樹脂層とからコアが形成されることを特徴としてもよい。

【0017】また、本発明のプラスチック光ファイバの製造方法は、第1のポリマーが、化3の一般式で表されることを特徴としてもよい。

【0018】

【化3】



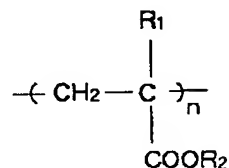
【0019】[R<sub>1</sub> は、水素とメチルとから成る群より選択される原子又は官能基であり、R<sub>2</sub> は、メチルと、

エチルと、プロピルと、ブチルと、三級ブチルと、ペンチルと、ヘキシルと、シクロヘキシルと、イソボロニルと、アダマンチルとから成る群より選択される官能基である。]

【0020】また、本発明のプラスチック光ファイバの製造方法は、コアの各樹脂層が、化4の一般式で表されるホモポリマーである第2のポリマーから成ることを特徴としてもよい。

【0021】

【化4】



【0022】[R<sub>1</sub> は、水素とメチルとから成る群より選択される原子又は官能基であり、R<sub>2</sub> は、炭素数1～20の、直鎖アルキル、分枝アルキル又は環状アルキルである。]

【0023】また、本発明のプラスチック光ファイバの製造方法は、複数の樹脂層が、第2のポリマーを中心軸から半径方向外側に向かってR<sub>2</sub> の炭素数の大きな順に用いた複数の樹脂層でコアが形成されていることを特徴としてもよい。

【0024】また、本発明のプラスチック光ファイバの製造方法は、化4の一般式で表されるホモポリマーの水素が弗素で更に置換された第2のポリマーを、中心軸から半径方向外側に向かって弗素含有率が小さな順に且つR<sub>2</sub> の炭素数が同一又は大きな順に用いた複数の樹脂層でコアが形成されていることを特徴としてもよい。

【0025】また、本発明のプラスチック光ファイバの製造方法は、化4の一般式で表されるホモポリマーの水素が、塩素と、臭素と、ヨウ素から成る群より選択された原子で更に置換された第2のポリマーを、中心軸から半径方向外側に向かって原子の含有率の大きな順に且つR<sub>2</sub> の分子量が同一又は大きな順に用いた複数の樹脂層でコアが形成されていることを特徴としてもよい。

【0026】以下、本発明のプラスチック光ファイバに関して、更に説明をする。

【0027】本発明のプラスチック光ファイバを構成する樹脂のホモポリマーは、以下に例示する化合物のホモポリマーを上記第1のポリマーとし、これらのハロゲン置換化合物である上記第2のポリマーであってもよい：アクリル酸メチル (メチルアクリレート)、メタクリル酸メチル (メチルメタクリレート)、アクリル酸エチル、メタクリル酸エチル、アクリル酸プロピル、メタクリル酸プロピル、アクリル酸ブチル、メタクリル酸ブチル、アクリル酸三級ブチル、メタクリル酸三級ブチル、アクリル酸ペンチル、メタクリル酸ペンチル、アクリル

酸ヘキシル、メタクリル酸ヘキシル、アクリル酸シクロヘキシル、メタクリル酸シクロヘキシル、アクリル酸イソボロニル、メタクリル酸イソボロニル、アクリル酸アダマンチル（アクリルアダマンタン）、メタクリル酸アダマンチル（メタクリルアダマンタン）。このような第 1 の化合物をハロゲン化した第 2 の化合物をモノマーとして用いる場合は、モノマーのハロゲン置換数を変化させることにより、ホモポリマーの屈折率を変化させることができる。また、上記第 2 のポリマーは、ここに列挙したような化合物のハロゲン置換物を重合させて得てもよい。

【0028】また、本発明のプラスチック光ファイバを構成する樹脂のモノマーは、アクリル酸若しくはメタクリル酸の、直鎖アルキルエステル、分枝アルキルエステル、又は環状アルキルエステルであってもよい。このような化合物をモノマーとして用いる場合は、アルキルの炭素数を変化させることにより、屈折率を変化させることが可能である。アルキルの炭素数は、所望の屈折率を得るためには 1~20 の幅で変化させればよい。製造工程等を考慮すると、この炭素数は、1~15 程度の範囲で変化させることが好ましい。

【0029】尚、本発明での「ホモポリマーから成る樹脂」は、可塑剤等、プラスチックに添加される公知の添加剤を含有するホモポリマーから成る樹脂を含む。

【0030】本発明のプラスチック光ファイバの分子量は、コアとクラッド部とを構成するホモポリマーの GPC による重量平均分子量が、10,000 以上 300,000 以下であることが好ましく、更には 30,000 以上 250,000 以下（更には 50,000 以上 200,000 以下）であることが好ましい。

【0031】コアを構成する高分子の重量平均分子量は、10,000 以上 300,000 以下であることが好ましい。また、クラッド部を構成する高分子の重量平均分子量も、10,000 以上 300,000 以下であることが好ましい。

【0032】本発明のコア及びクラッド部を製造するためにモノマーを重合させてホモポリマーを得る場合は、重合反応は公知の重合反応を用いることができるが、O-O 結合を有する過酸化合物やアゾ系化合物等を開始剤とするラジカル重合であることが好ましい。ここで、反応ラジカル重合反応の開始剤には、過酸化ベンゾイル、過酸化ラウロイル等の、約 40℃~約 100℃で有効にラジカルを発生するいわゆる中温開始剤が好適に使用可能である。従って、このような中温開始剤を用いた場合、重合反応の温度条件は、好適には約 40℃~約 100℃である。反応熱や反応自体による膨脹収縮によって重合反応中若しくは反応後ポリマーにクラック等が生じないように、並びに、反応熱によってモノマーが反応中に沸騰することのないように、重合反応速度は調節される必要があり、これは重合温度と開始剤濃度との組み合わせ

により調節可能である。ラジカル重合反応の開始剤の添加量は、約 40℃~約 100℃の重合反応開始の条件に関して、系全体に対して 0.001~10 重量%程度、更には 0.01~0.3 重量%程度（特に 0.05~0.15 重量%程度）であればよい。尚、このような熱エネルギーによる塊状重合以外にも、光エネルギーを用いた塊状重合等も使用可能である。この場合においても同様に、温度等の入力エネルギー量と開始剤濃度との組み合わせにより、重合反応速度を調節することが可能である。

【0033】本発明に用いることのできるプラスチック光ファイバの製造装置は、樹脂を吐出させるノズルを同心円上に 1 つ以上配置した押出しダイを有し、且つ、各同心円上のノズル群には 1 つのホモポリマーを供給することにより同心円毎に異なるホモポリマーを押出すことのできる機能が具備される必要がある。また、押出しのために、ホモポリマーを加熱溶解する加熱手段が具備されていなければならない。尚、押出しダイは、同心円状に形成された複数の溝状の吐出孔を備えていてもよい。

【0034】

【作用】本発明のプラスチック光ファイバのコアは、内側から屈折率の高い順に複数の樹脂層から成る構成であるため、その屈折率分布は、中心から半径方向外側に向かって階段状を呈している。従って、モード分散を小さくできるので高速通信用途に要求されるレベルの大きな伝送帯域を実現するプラスチック光ファイバを製造することができる。

【0035】また本発明では、予め屈折率の調整されたホモポリマーを用いる押出し法を採用するため、プラスチック光ファイバの製造工程で重合反応を含まない。従って、屈折率分布に関して再現性が高くなる。

【0036】また、各樹脂層はホモポリマーから成る樹脂で形成されているため、ブロック化による光散乱を生じることはない。

【0037】各樹脂層は、可視光領域に吸収帯を有するドーパントを含まないため、伝送損失を小さくすることができる。

【0038】また、各樹脂層を構成するホモポリマーのモノマーに、炭素-水素（C-H）結合の比率の小さな化合物を用いているため、可視光領域の吸収が低減されて伝送損失への影響が低減される。

【0039】各樹脂層を構成するホモポリマーは、第 1 のポリマーの水素（H）を、原子又は官能基で置換して第 1 のポリマーよりも炭素-水素（C-H）結合の含まれる比率を減少させた第 2 のポリマーを用いるため、プラスチック光ファイバに用いることのできる公知のモノマーの置換誘導体を用いて、屈折率分布を有する G I 型のプラスチック光ファイバを得ることができる。この置換誘導体は、公知のモノマーを出発物質として比較的容易に合成でき、しかも置換数や置換原子又は置換基を変

えることにより、容易に屈折率の異なるホモポリマーを得ることができるため、これらのモノマーを原料として用いて所望の屈折率分布を容易に得ることができる。

【0040】また、ハロゲンで置換されたポリマーを用いる態様では、ポリマーのハロゲン含有量を変化させるだけで樹脂の屈折率を変化させることができるため、所望の屈折率を容易に得ることができる。ハロゲンが弗素の場合、ポリマーに含まれる弗素がホモポリマーの屈折率を減少させ、弗素含有量が大きくなるほど屈折率が低下する傾向をもつ。ハロゲンが塩素、臭素及びヨウ素の場合、ポリマーに含まれる塩素、臭素及びヨウ素がホモポリマーの屈折率を増加させ、置換数が大きくなるほど屈折率が上昇する傾向をもつ。また、弗素と、[塩素/臭素/ヨウ素]とを組合わせてポリマーの水素を置換することにより、屈折率を所望の値に調節することも可能である。従って、ホモポリマー層を、屈折率を変化させて幾層にも形成することにより、図5に示されるような屈折率分布を有するプラスチック光ファイバを得ることが可能となる。

【0041】同様に、官能基の分子量を変化させて屈折率を変化させたホモポリマーを樹脂層に用いる態様では、官能基の分子量を変化させるだけで樹脂の屈折率を変化させることができるため、所望の屈折率を容易に得ることができる。この場合は、ポリマーに含まれる炭素-水素(C-H)結合の割合が小さくなれば屈折率が上昇する。官能基が直鎖アルキル、分枝アルキル又は環状アルキルである場合は、炭素数が大きくなるほど屈折率が上昇する。従って、ホモポリマー層を、屈折率を変化させて幾層にも形成することにより、図5に示されるような屈折率分布を有するプラスチック光ファイバを得ることが可能となる。

【0042】また、上記のポリマーを用いて、コア最外附近の屈折率をクラッドの屈折率よりも低くして、コア中心部とコア最外部との屈折率差( $\Delta n$ )を大きくすることは容易であり、この場合は、光の閉じこめ効果が大きくなる。そのため、曲げ損失が小さなプラスチック光ファイバを得ることが可能になる。

【0043】従って、伝送帯域の大きなGI型のプラスチック光ファイバを簡便に且つ品質のばらつきがなく製造することが可能となる。

【0044】

【実施例】以下、添付した図面を必要に応じて参照しつつ、実施例により本発明を更に詳細に説明する。尚、添付した図面の説明においては、同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略した。また、説明の便宜のために縮尺を誇張して描く場合もある。

【0045】図1は、本発明に用いることができるプラスチック光ファイバの製造装置の構成図である。図1に示されるように、プラスチック光ファイバ製造装置10は、ポリマーペレット供給装置12と、供給管14と、

押し出し装置16と、押し出し装置16の先端に設置される押し出しダイ18と、巻き取り20とから成る。ポリマーペレット供給装置12には、屈折率の異なる複数種のポリマーペレットが屈折率毎に貯蔵されている。ポリマーペレットは屈折率毎に、供給管14によって押し出し装置16に供給される。供給管14の本数は、プラスチック光ファイバの樹脂層の数と等しく、例えば、図1では、屈折率の異なる3層から成るコアと、クラッドとの計4層から成るプラスチック光ファイバのための装置が一例として図示されており、この場合の供給管の本数は、14a、14b、14c、14dの4本である。供給管14を経て押し出し装置16に供給されたポリマーペレットは、押し出し装置16内で屈折率の異なるポリマーペレット毎に押出される。このとき、各ポリマーは、同心円状の層状に且つ各ポリマーの押し出し速度が等しいように押出されて、プラスチック光ファイバ22を形成し、巻き取り20に巻き取られる。押し出し装置16には、ポリマーを加熱溶融させるための加熱手段と、目的とするプラスチック光ファイバの層の数の押し出しラインとが内蔵されている。

【0046】図2は、押し出し装置16の先端の押し出しダイ18の断面図である。図3(a)は、押し出しダイ18の正面図であり、押し出しダイ18の吐出孔の配列形状が表される。図2に示されるように、押し出しダイ18内部には、プラスチック光ファイバを構成する屈折率の異なる層に対応する管状の押し出しノズル24が備えられる。図2及び図3(a)に示されるように、押し出しダイ18は、押し出しノズル24の出口である吐出孔26が多数配置される。吐出孔26は、まず中心に1つ配置され、そしてこの中心と同心の3つの円上に配置される。同心円上の吐出孔に同じ屈折率のポリマーが押出されて、同心円状に屈折率の異なる4つの層から形成されるプラスチック光ファイバが作製される。押し出しノズル24の本数は、図3(a)に示される口金の個数と等しい。図2は断面図であるため、図2では、押し出しノズル24は、中心の層のための1本と、その他の3層は両側に1本ずつの計7本が図示されている。

【0047】(実施例1)本実施例では、まず、図1、図2及び図3(a)に示されるプラスチック光ファイバ製造装置を用い、階段状の屈折率分布を有するGI型プラスチック光ファイバを作製した。そして、得られたプラスチック光ファイバの伝送損失と曲げ損失とを測定した。

【0048】本実施例では、以下のようにプラスチック光ファイバを作製した。図1、図2及び図3(a)を参照してその工程を説明する。

【0049】図4は、本実施例で作製されたプラスチック光ファイバ30の外観図であり、プラスチック光ファイバ30の断面の構造が示される。まず、クラッド部とコア用のポリマーを合成した。本実施例では、クラッド



部用とコア用のポリマーとして、メタクリル酸メチルのホモポリマー並びにメタクリル酸メチルを弗素置換したフルオロメタクリル酸メチルのホモポリマーを用いた。屈折率を相違させるため、各層毎にメタクリル酸メチルの弗素置換数を変化させた。図4を参照し、クラッド部32用には、メタクリル酸メチルの全ての水素を弗素で置換したオクタフルオロメタクリル酸メチルのホモポリマーを用いた。また、コアを3層とし、外側から順に、コア第1層34用にメタクリル酸メチルの7弗化物のヘプタフルオロメタクリル酸メチル、コア第2層36用に6弗化物のヘキサフルオロメタクリル酸メチル、コア第3層38用にメタクリル酸メチルの、それぞれのホモポリマーを用いてコアを形成した。尚、上記のメタクリル酸メチルの6～8弗化物は、メタクリル酸メチルの任意の位置の水素を弗素で置換した化合物であればよい。尚、以下においても同様に、コアを形成する層は、外側から順にコア第1層、コア第2層、...と呼ぶ。

【0050】重合性化合物の水素を弗素(F)で置換した化合物をモノマーに用いる場合、弗素置換数が大きい化合物ほど、そのホモポリマーの屈折率が小さくなる。従って、弗素置換物を用いる場合は、外側から弗素置換数が大きい順に並ぶようにしてホモポリマーを押し複数の層を形成すれば、中心部を最大として半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するプラスチック光ファイバを得ることができる。

【0051】上記のメタクリル酸メチルのホモポリマー並びにメタクリル酸メチルの6～8弗化物のホモポリマーは、予め合成され、押し成形のためにペレット状で保管されていた。メタクリル酸メチル並びにメタクリル酸メチルの弗化物の重合は、公知の塊状重合法により行われた。

【0052】クラッド部及びコアに用いる4種類のホモポリマーのペレットを、ポリマーペレット供給装置12に、ホモポリマー別に供給した。ポリマーペレット供給装置12から、各ホモポリマーはそれぞれの供給管14を介して、ホモポリマー別に押し出し装置16に供給される。それぞれの供給管には1種類のホモポリマーペレットが流下する。そして、押し出し装置16もそれぞれのホモポリマーペレット別の押し出しラインが具備されている。本実施例では、ホモポリマーペレットが4種類であるため、4本の押し出しライン少なくともが具備されている押し出し装置を用いることができる。押し出し装置16内に具備される4本の押し出しラインの各ラインは、4本の各供給管と接続され、更にダイ18のクラッド部形成用のノズル24に接続される。

【0053】例えば、ポリオクタフルオロメタクリル酸メチルは、供給管14aのみから押し出し装置16のポリオクタフルオロメタクリル酸メチル用押し出しラインに供給され、そこから押し出しダイ18のポリオクタフルオロメタクリル酸メチル用の押し出しノズル24(図2では、

押し出しノズルの上に8Fと表示し、図3(a)では、一番外側の同心円上に16個並ぶ吐出孔26に対応する)に至る。そして、ノズル24から、吐出孔26を介してクラッド部を形成する。

【0054】このようにして、各ホモポリマーを同じ押し出し速度で押し出しダイ18の吐出孔26から押し出し、図4に示されるように、クラッド部32と3層のコア50との4層から成るプラスチック光ファイバが作製された。押し出しの条件は以下の通りであった：

樹脂温度	200℃,
プラスチック光ファイバの径	650μm.

【0055】このプラスチック光ファイバの屈折率分布を干渉法(測定装置：P-101、ヨーク社製、以下、全ての実施例及び比較例の屈折率分布の測定においてこの方法及び装置を用いる)で調べたところ、図5に示されるような、中心から階段状に降下するGI型の屈折率分布を有することが明らかになった。プラスチック光ファイバの伝送損失を、カットバック法で(測定装置：AQ-6315B、安藤電気社製、以下全ての実施例及び比較例の伝送損失及び曲げ損失の測定は、カットバック法でAQ-6315Bを用いて測定を行った)測定したところ、波長650nmに関して90dB/kmであった。

【0056】次に、このプラスチック光ファイバを、直径10mmのマンドレルに巻きつけた状態で、カットバック法でAQ-6315Bを用いて曲げ損失を測定した。このときの曲げ損失の値は、1.0dBであった。

【0057】以上のように、本実施例では、本発明に従って押し出し法により、メタクリル酸メチルを弗素置換したモノマーを用い、外側から中心に向かって、置換数を順次増加させてコアを含むプラスチック光ファイバを作製できることが示され、更にこのプラスチック光ファイバが良好な伝送損失及び曲げ損失を備えることが確認された。

【0058】(実施例2)コアを形成する各モノマーに、メタクリル酸メチルの塩素置換物を用いた以外は、全て実施例1と同様の操作により、プラスチック光ファイバを作製し、得られたプラスチック光ファイバの伝送損失と曲げ損失とを測定した。

【0059】モノマーに、重合性化合物の水素を塩素(C1)で置換した化合物を用いる場合、塩素置換数が大きい化合物ほど、弗素置換物とは逆に、そのホモポリマーの屈折率が大きくなる。従って、塩素置換物を用いる場合は、外側から塩素置換数が小さい順に並ぶようにしてホモポリマーを押し出し複数の層を形成すれば、中心部を最大として半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するプラスチック光ファイバを得ることができる。

【0060】本実施例では、クラッド部にメタクリル酸

メチルのホモポリマー、コアに関しては、外側から、メタクリル酸メチルの 1 塩化物であるモノクロロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第 1 層、メタクリル酸メチルの 2 塩化物であるジクロロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第 2 層、8 塩化物であるオクタクロロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第 3 層となるように、ポリマーペレット供給装置 12、供給管 14、押出し装置 16 及び押出しダイ 18 の設定を行った。また、各ホモポリマーは、実施例と同様にペレットで用意した。尚、1、2、8 塩素置換物はそれぞれ、メタクリル酸メチルの任意の位置の水素を塩素置換したものであればよい。

【0061】次に、実施例 1 と同様に図 1、図 2 及び図 3 (a) に示される装置を用いて、各ホモポリマーを一度に押出して、直径 650  $\mu\text{m}$  のプラスチック光ファイバを形成した。プラスチック光ファイバの屈折率分布は、図 5 に示されるような階段状の G I 型の分布を呈していた。プラスチック光ファイバの伝送損失を測定したところ、波長 650 nm に関して 100 dB/km であった。

【0062】次に、このプラスチック光ファイバを、直径 10mm のマンドレルに巻きつけた状態で、実施例 1 と同様に曲げ損失を測定した。このときの曲げ損失の値は、1.1 dB であった。

【0063】以上のように、本実施例では、本発明に従って、メタクリル酸メチルを塩素置換したモノマーを用い、塩素置換数を変化させた 3 つのホモポリマーを、クラッド部用のメタクリル酸メチルのホモポリマーと共に押出して 3 層から成るコアを含むプラスチック光ファイバを作製できることが示され、更にこのプラスチック光ファイバが良好な伝送損失及び曲げ損失を備えることが確認された。

【0064】(実施例 3) コアを形成する各モノマーに、メタクリル酸メチルの臭素置換物を用いた以外は、全て実施例 1 と同様の操作によりプラスチック光ファイバを作製し、得られたプラスチック光ファイバの伝送損失と曲げ損失とを測定した。

【0065】モノマーに、重合性化合物の水素を臭素 (Br) で置換した化合物を用いる場合、臭素置換数が大きい化合物ほど、塩素置換物と同様に、そのホモポリマーの屈折率が大きくなる。従って、臭素置換物を用いる場合は、外側から臭素置換数が小さい順に並ぶようにホモポリマーを押出し複数の層を形成すれば、中心部を最大として半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するプラスチック光ファイバを得ることができる。

【0066】本実施例では、クラッド部にメタクリル酸メチルのホモポリマー、コアに関しては、外側から、メタクリル酸メチルの 1 臭素置換物であるモノブロモメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第 1 層、メタクリル

ル酸メチルの 2 臭化物のジブロモメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第 2 層、8 臭化物のオクタブロモメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第 3 層となるように、ポリマーペレット供給装置 12、供給管 14、押出し装置 16 及び押出しダイ 18 の設定を行った。また、各ホモポリマーは、実施例と同様にペレットで用意した。尚、1、2、8 臭素置換物はそれぞれ、メタクリル酸メチルの任意の位置の水素を臭素置換したものであればよい。

【0067】次に、実施例 1 と同様に図 1、図 2 及び図 3 (a) に示される装置を用いて、各ホモポリマーを一度に押出して、直径 650  $\mu\text{m}$  のプラスチック光ファイバを形成した。プラスチック光ファイバの屈折率分布は、図 5 に示されるような階段状の G I 型の分布を呈していた。プラスチック光ファイバの伝送損失を測定したところ、波長 650 nm に関して 90 dB/km であった。

【0068】次に、このプラスチック光ファイバを、直径 10mm のマンドレルに巻きつけた状態で、実施例 1 と同様に曲げ損失を測定した。このときの曲げ損失の値は、0.9 dB であった。

【0069】以上のように、本実施例では、本発明に従って、メタクリル酸メチルの臭素置換数を変化させた 3 種類のモノマーを重合した 3 種類のホモポリマーを、クラッド部用のメタクリル酸メチルのホモポリマーと共に押出して、3 層から成るコアを含むプラスチック光ファイバを作製できることが示され、更にこのプラスチック光ファイバが良好な伝送損失及び曲げ損失を備えることが確認された。

【0070】(実施例 4) コアを形成する各モノマーに、メタクリル酸メチルのヨウ素置換物を用いた以外は、全て実施例 1 と同様の操作によりプラスチック光ファイバを作製し、得られたプラスチック光ファイバの伝送損失と曲げ損失とを測定した。

【0071】モノマーに、重合性化合物の水素をヨウ素 (I) で置換した化合物を用いる場合、ヨウ素置換数が大きい化合物ほど、塩素置換物や臭素置換物と同様に、そのホモポリマーの屈折率が大きくなる。従って、ヨウ素置換物を用いる場合は、外側からヨウ素置換数が小さい化合物の順に並ぶようにしてホモポリマーを押出し複数の層を形成すれば、中心部を最大として半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するプラスチック光ファイバを得ることができる。

【0072】本実施例では、クラッド部にメタクリル酸メチルのホモポリマー、コアに関しては、外側から、メタクリル酸メチルの 1 ヨウ素置換物のモノヨードメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第 1 層、メタクリル酸メチルの 2 ヨウ化物のジヨードメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第 2 層、8 ヨウ化物のオクトヨードメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第 3 層となる

ように、ポリマーペレット供給装置12、供給管14、押出し装置16及び押出しダイ18の設定を行った。また、各ホモポリマーは、実施例と同様にペレットで用意した。尚、1、2、8ヨウ素置換物はそれぞれ、メタクリル酸メチルの任意の位置の水素をヨウ素置換したものであればよい。

【0073】次に、実施例1と同様に図1、図2及び図3(a)に示される装置を用いて、各ホモポリマーを一度に押出して、直径650 $\mu$ mのプラスチック光ファイバを形成した。プラスチック光ファイバの屈折率分布は、図5に示されるような階段状のGI型の分布を呈していた。プラスチック光ファイバの伝送損失を測定したところ、波長650nmに関して100dB/kmであった。

【0074】次に、このプラスチック光ファイバを、直径10mmのマンドレルに巻きつけた状態で、実施例1と同様に曲げ損失を測定した。このときの曲げ損失の値は、1.0dBであった。

【0075】以上のように、本実施例では、本発明に従って、メタクリル酸メチルのヨウ素置換数を変化させた3種類のモノマーを重合した3種類のホモポリマーを、クラッド部のメタクリル酸メチルのホモポリマーと共に押出して、3層から成るコアを含むプラスチック光ファイバを作製できることが示され、更にこのプラスチック光ファイバが良好な伝送損失及び曲げ損失を備えることが確認された。

【0076】(実施例5) コアを形成する各モノマーに、メタクリル酸メチルの塩素及び臭素の置換物を用いた以外は、全て実施例1と同様の操作によりプラスチック光ファイバを作製し、得られたプラスチック光ファイバの伝送損失と曲げ損失とを測定した。

【0077】モノマーに、重合性化合物の水素を塩素(Cl)と臭素(Br)で置換した化合物を用いる場合、塩素置換数と臭素置換数の合計が大きい化合物ほど、そのホモポリマーの屈折率が大きくなる。また、塩素と臭素ではモノマーにおける置換数に対応した屈折率の変化の程度が異なるため、塩素置換数と臭素置換数との組合わせに基づいてモノマーを選択することにより、塩素のみの置換や臭素のみの置換によって実現されるコアの屈折率分布とは異なる屈折率分布を得ることが可能となる。本実施例では、外側から塩素置換数と臭素置換数との合計が小さい化合物の順に並ぶようにしてホモポリマーを押出し複数の層を形成すれば、中心部を最大として半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するプラスチック光ファイバを得ることができる。

【0078】本実施例では、クラッド部にメタクリル酸メチルのホモポリマー、コアに関しては、外側から順に、メタクリル酸メチルの1塩素置換物であるモノクロロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第1層、メ

タクリル酸メチルの1塩素1臭素置換物であるクロロブロモメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第2層、2塩素1臭素置換化合物であるジクロロモノブロモメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第3層、2塩素2臭素置換物であるジクロロジブロモメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第4層、4塩素4臭素置換物であるテトラクロロテトラブロモメタクリル酸メチルのコア第5層となるように、ポリマーペレット供給装置12、供給管14、押出し装置16及び押出しダイ18の設定を行った。また、各ホモポリマーは、実施例1と同様にペレットで用意した。尚、以上のメタクリル酸メチルの置換物はそれぞれ、メタクリル酸メチルの任意の位置の水素を置換したものであればよい。

【0079】次に、実施例1と同様に図1、図2及び図3(a)に示される装置を用いて、各ホモポリマーを一度に押出して、直径650 $\mu$ mのプラスチック光ファイバを形成した。プラスチック光ファイバの屈折率分布は、図5に示されると同様のプロファイルで5段である階段状のGI型の分布を呈していた。プラスチック光ファイバの伝送損失を測定したところ、波長650nmに関して100dB/kmであった。

【0080】次に、このプラスチック光ファイバを、直径10mmのマンドレルに巻きつけた状態で、実施例1と同様に曲げ損失を測定した。このときの曲げ損失の値は、1.0dBであった。

【0081】以上のように、本実施例では、本発明に従って、メタクリル酸メチルを塩素及び臭素で置換したモノマーを用い、置換数の合計を変化させた5つのホモポリマーを、クラッド部のメタクリル酸メチルのホモポリマーと共に押出し、5層から成るコアを含むプラスチック光ファイバを作製できることが示され、更にこのプラスチック光ファイバが良好な伝送損失及び曲げ損失を備えることが確認された。

【0082】(実施例6) コアを形成する各モノマーに、以下の化合物を用いた以外は、全て実施例1と同様の操作によりプラスチック光ファイバを作製し、得られたプラスチック光ファイバの伝送損失と曲げ損失とを測定した。また、本実施例では、プラスチック光ファイバの伝送帯域も測定した。

【0083】本実施例では、モノマーにメタクリル酸アルキルエステルの塩素置換物を用い、外側から順に塩素置換数が増加し、且つ、エステル結合しているアルキルの炭素数(分子量)が減少しないよう(即ち、内側に向かって同一又は増加するように)に、モノマーを選択して、ホモポリマーから成る樹脂層を14層形成してコアを作製した。

【0084】また、本実施例では、図1に示されるプラスチック光ファイバ製造装置10の押出しダイ18には、吐出孔の形態が図3(b)に示されるものを用いた。押出しダイ18の正面図である図3(b)に示され

るように、本実施例では、目的とするプラスチック光ファイバの各樹脂層に対応する吐出孔 26 は、複数の非常に細い同心円の溝であり、この溝 26 の数が目的とするプラスチック光ファイバの樹脂層の数と一致するような押し出しダイ 18 を用いる必要がある。図 3 (b) では、図 3 (a) と同じく 4 層のファイバを作製するための押し出しダイ 18 が示されるが、本実施例では、同心円の溝型吐出孔 26 を 10 本備える押し出しダイを用いた。

【0085】前述のように、塩素置換数が大きい化合物ほど、そのホモポリマーの屈折率が大きくなる。更に、メタクリル酸アルキルエステルの場合は、エステル結合したアルキルの炭素数が大きくなるほど、そのホモポリマーの屈折率は大きくなる。従って、メタクリル酸アルキルエステルの塩素置換物をモノマーとして用い、上記の効果を利用して、塩素置換数とアルキルの分子量との組合わせによりモノマーを選び、複数の層を形成して、中心部を最大として半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するプラスチック光ファイバを得ることができる。

【0086】クラッド部にはメタクリル酸メチルのホモポリマー、コアに関しては、モノクロロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第 1 層、ジクロロメタクリル酸エチルのホモポリマーのコア第 2 層、トリクロロメタクリル酸プロピルのホモポリマーのコア第 3 層、テトラクロロメタクリル酸ブチルのホモポリマーのコア第 4 層、ペンタクロロメタクリル酸ブチルのホモポリマーのコア第 5 層、ヘキサクロロメタクリル酸ブチルのホモポリマーのコア第 6 層、ペンタクロロメタクリル酸ブチルのホモポリマーのコア第 7 層、オクタクロロメタクリル酸ブチルのホモポリマーのコア第 8 層、テトラデカクロロメタクリル酸ブチルのホモポリマーのコア第 9 層となるように、ポリマーペレット供給装置 12、供給管 14、押し出し装置 16 及び押し出しダイ 18 の設定を行った。また、各ホモポリマーは、実施例 1 と同様にペレットで用意した。尚、以上のメタクリル酸アルキルエステルの塩素置換物はそれぞれ、メタクリル酸アルキルエステルの任意の位置の水素を塩素置換したものであればよい。

【0087】以上のように、メタクリル酸アルキルエステルの、アルキルの炭素数を 1 から 5 まで増加させ 5 以降は同一とし、且つ、塩素置換数を 1~7、14 と増加させた 9 層のコアをクラッドと共に、図 1、図 2 及び図 3 (b) に示される装置を用いて一度に押し出して、直径 650  $\mu\text{m}$  のプラスチック光ファイバを作製した。プラスチック光ファイバの屈折率分布を測定したところ、図 5 に示されると同様の形状で段数が 9 段の階段状の G I 型屈折率分布を示していることが明らかになった。プラスチック光ファイバの伝送損失を測定したところ、波長 650 nm に関して 100 dB/km であった。

【0088】また、このプラスチック光ファイバの伝送

帯域を、パルス法により測定した。このプラスチック光ファイバの伝送領域は、波長 650 nm において 100 MHz  $\cdot$  km であった。この伝送帯域の値は、標準的な S I 型プラスチック光ファイバの伝送帯域と比べて、約 10 倍広いことが明らかになった。

【0089】次に、このプラスチック光ファイバを、直径 10 mm のマンドレルに巻きつけた状態で、実施例 1 と同様に曲げ損失を測定した。このときの曲げ損失の値は、0.9 dB であった。

【0090】以上のように、本実施例のプラスチック光ファイバが良好な伝送損失及び曲げ損失を備えることが確認され、更には、広い伝送帯域を有することが明らかになった。

【0091】尚、本実施例は変形が可能であり、例えば、塩素の代りに臭素又はヨウ素を用いてメタクリル酸アルキルエステルを置換したモノマーのホモポリマーを用いて、同様に押し出し法により複数の層を形成してプラスチック光ファイバを作製してもよい。また、塩素の代りに弗素を用いてメタクリル酸アルキルエステルを置換したモノマーを用い、上記の塩素の場合とは逆に、外側から中心に向かって、弗素置換数が減少するようにモノマーを選んでコアを形成してもよい。これらの変形例のプラスチック光ファイバの場合も、本実施例と同様の屈折率分布、伝送損失、曲げ損失及び伝送帯域を得ることができた。

【0092】(実施例 7) コアを形成する各モノマーに、メタクリル酸アルキルエステルを用いた以外は、全て実施例 1 と同様の操作によりプラスチック光ファイバを作製し、得られたプラスチック光ファイバの伝送損失と曲げ損失とを測定した。

【0093】アルキルの炭素数を変化させれば、アクリル酸誘導体分子中の炭素-水素 (C-H) 結合の比率が変化するため、そのホモポリマーの屈折率が変化する。そして、このことを利用して、複数のホモポリマーの層を形成して所定の屈折率分布を有するコアを作製する場合は、外側からアルキルの炭素数が増加する順にアクリル酸誘導体を選択してモノマーとし、このホモポリマーから成る複数の層を押し出して形成することにより、中心部を最大として半径方向外側に向かって屈折率が降下する屈折率分布を有するプラスチック光ファイバを得ることができる。

【0094】クラッド部にメタクリル酸メチル、コアに関しては、メタクリル酸エチルのコア第 1 層、メタクリル酸プロピルのホモポリマーのコア第 2 層、メタクリル酸ブチルのホモポリマーのコア第 3 層、メタクリル酸オクチルのホモポリマーのコア第 4 層となるように、ポリマーペレット供給装置 12、供給管 14、押し出し装置 16 及び押し出しダイ 18 の設定を行った。また、各ホモポリマーは、実施例 1 と同様にペレットで用意した。

【0095】次に、実施例 1 と同様に図 1、図 2 及び図

3 (a) に示される装置を用いて、各ホモポリマーを一度に押出して、直径  $650\ \mu\text{m}$  のプラスチック光ファイバを形成した。プラスチック光ファイバの屈折率分布は、図 5 に示されると同様の形状で、段数が 5 段の階段状の G I 型の分布を呈していた。プラスチック光ファイバの伝送損失を測定したところ、波長  $650\ \text{nm}$  に関して  $120\ \text{dB/km}$  であった。

【0096】次に、このプラスチック光ファイバを、直径  $10\ \text{mm}$  のマンドレルに巻きつけた状態で、実施例 1 と同様に曲げ損失を測定した。このときの曲げ損失の値は、 $1.2\ \text{dB}$  であった。

【0097】以上のように、本実施例では、本発明に従って、メタクリル酸直鎖アルキルエステルの炭素数を変化させたモノマー群の中から炭素数の小さい順に選び、外側から 5 つのホモポリマーの層から成るコアを含むプラスチック光ファイバを作製できることが示され、更にこのプラスチック光ファイバが良好な伝送損失及び曲げ損失を備えることが確認された。

【0098】(実施例 8) 本実施例では、図 6 に示されるように、クラッド部よりも低い屈折率を最外部に持ち、中心に向かって階段状に上昇し、コアの最大屈折率と最小屈折率との差 ( $\Delta n$ ) の大きな屈折率分布を有するコアを備えるプラスチック光ファイバを作製した。クラッド部にハロゲン置換の無いメタクリル酸メチルのホモポリマーを用い、クラッド部に近接するコアの部分には、屈折率を降下させる弗素 (F) の置換物を用い、弗素置換数が順に小さくなるように並べられる複数の層とし、その内側にメタクリル酸メチルのホモポリマー層が 1 層、更にその内側に、屈折率を上昇させる塩素 (C 1) の置換物を、塩素置換数が大きくなるように並べられる複数の層として、これらを一度に押出してプラスチック光ファイバを作製した。このプラスチック光ファイバのコアは、合計で 11 層から成る。得られたプラスチック光ファイバの伝送損失と曲げ損失とを測定した。

【0099】クラッド部をメタクリル酸メチルのホモポリマーとし、コアに関しては、オクタフルオロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第 1 層、ヘキサフルオロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第 2 層、ペンタフルオロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第 3 層、テトラフルオロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第 4 層、トリフルオロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第 5 層、ジフルオロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第 6 層、モノフルオロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第 7 層、メタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第 8 層、メタクリル酸メチルの 1 塩素置換物であるモノクロロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第 9 層、ジクロロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第 10 層、オクタクロロメタクリル酸メチルのホモポリマーのコア第 11 層となるように、ポリマーペレット供給装置 12、供給管 14、

押出し装置 16 及び押出しダイ 18 の設定を行った。また、各ホモポリマーは、実施例 1 と同様にペレットで用意した。尚、以上のメタクリル酸メチルの弗素化合物及び塩素置換物はそれぞれ、メタクリル酸メチルの任意の位置の水素を弗素又は塩素置換したものであればよい。

【0100】以上のような各ホモポリマーを、図 1、図 2 及び図 3 (a) に示される装置を用いて一度に押出して、直径  $650\ \mu\text{m}$  のプラスチック光ファイバを作製した。作製されたプラスチック光ファイバの屈折率分布を測定したところ、図 6 に示されるように、 $\Delta n$  の大きな階段状の G I 型屈折率分布を示していることが明らかになった。プラスチック光ファイバの伝送損失を測定したところ、波長  $650\ \text{nm}$  に関して  $100\ \text{dB/km}$  であった。

【0101】次に、このプラスチック光ファイバを、直径  $10\ \text{mm}$  のマンドレルに巻きつけた状態で、実施例 1 と同様に曲げ損失を測定した。このときの曲げ損失の値は、 $0.3\ \text{dB}$  であった。

【0102】以上のように、本実施例では、本発明に従って、メタクリル酸メチルを弗素置換したモノマーのホモポリマーと、塩素置換したモノマーのホモポリマーとを主に用いて押出し法により、 $\Delta n$  の大きなプラスチック光ファイバを作製できることが示され、更にこのプラスチック光ファイバが良好な伝送損失及び曲げ損失を備えることが確認された。特に、このような  $\Delta n$  の大きなコアを有するプラスチック光ファイバは、曲げ特性において非常に有利な結果が得られることが示された。

【0103】(比較例 1~4) 本発明に従った実施例 1~8 において示された本発明の有効性を更に明らかにするため、以下の本発明によらない 4 つの例を比較例 1~4 として示す。これらの比較例 1~4 では、コアは実施例 1~8 と同じく屈折率の異なる複数の層から成るが、重合性のモノマーに屈折率を上昇させるドーパント (屈折率上昇剤) を比率を変えて添加し重合した屈折率の異なる複数のホモポリマーを用いて樹脂層を形成し、図 5 に示されるような階段状の屈折率分布を得る点が、上記の実施例 1~8 との相違点である。

【0104】比較例 1~4 では、モノマーには共通してメタクリル酸メチルを用いた。更に、屈折率上昇剤にフタル酸ブチルベンジルエステルを用いた例を比較例 1、屈折率上昇剤にジフェニルスルフィドを用いた例を比較例 2、屈折率上昇剤にトリフェニルフォスフェートを用いた例を比較例 3、屈折率上昇剤にオクタクロロメタクリル酸メチルを用いた例を比較例 4 とした。尚、比較例 4 は、モノマーと屈折率上昇剤が共重合をする。

【0105】これら 5 つの比較例に共通して、以下の手順を行った。メタクリル酸メチルに、上記の屈折率上昇剤を添加量を調節して添加し、屈折率の異なる複数のポリマーを合成して、ペレット状の形態とした。次いで、実施例 1 と同じ装置及び条件でこれを押出してプラステ

ック光ファイバとした。比較例 1～5 で得られたプラスチック光ファイバは、それぞれ、図 5 で示される階段状の G I 型屈折率分布を呈していた。そして、実施例 1 と同様に、波長 650 nm に対する伝送損失を測定し、次いで、10 mm のマンドレルに巻きつけた状態での曲げ損失を測定した。

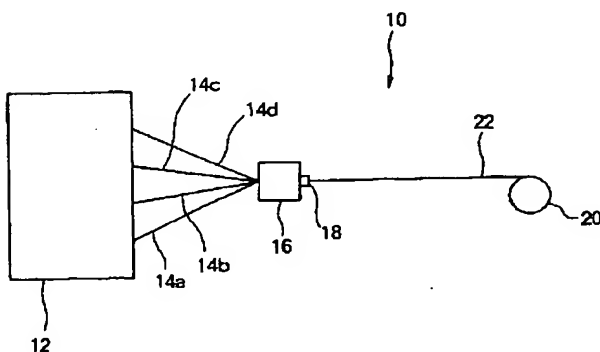
【0106】モノマーであるメタクリル酸メチルに屈折率上昇剤としてフタル酸ブチルベンジルエステルを添加したポリマーを用いた比較例 1 では、伝送損失は 150 dB/km、曲げ損失は 2.5 dB であった。モノマーであるメタクリル酸メチルに屈折率上昇剤としてジフェニルスルフィドを添加したポリマーを用いた比較例 2 では、伝送損失は 160 dB/km、曲げ損失は 2.6 dB であった。モノマーであるメタクリル酸メチルに屈折率上昇剤としてトリフェニルフォスフェート添加したポリマーを用いた比較例 3 では、伝送損失は 180 dB/km、曲げ損失は 2.8 dB であった。モノマーであるメタクリル酸メチルに屈折率上昇剤としてオクタクロメタクリル酸メチルを添加したポリマーを用いた比較例 4 では、伝送損失は 300 dB/km、曲げ損失は 3.0 dB であった。

【0107】以上のように、屈折率分布を得るためにモノマー自体の屈折率の差を利用する本発明のプラスチック光ファイバは、屈折率を変化させるドーパントを含むプラスチック光ファイバと比べて、同様の屈折率分布であっても、伝送損失及び曲げ損失の両面において優れていることが示された。

#### 【0108】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明のプラスチック光ファイバは、屈折率を変化させるドーパントを含まないホモポリマーから成るコアを備えるため、光散乱や可視光域での吸収がないために、伝送損失及び曲げ損失に優れている。

【図 1】



【0109】また、本発明のプラスチック光ファイバの製造方法は、各層毎に 1 種類のホモポリマーを用いて、クラッド部の内側に屈折率の異なる多層のコアを形成するため、階段状の G I 型の屈折率分布をもったプラスチック光ファイバを容易且つ高い生産性で製造することが可能となる。

【0110】従って、高速通信に用いることが可能な実用的なプラスチック光ファイバを生産性良く提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に好適に使用されるプラスチック光ファイバ製造装置の一例の構成図である。

【図 2】本発明に好適に使用されるプラスチック光ファイバ製造装置の一例における押し出しダイの断面図である。

【図 3】押し出しダイの正面図である。

【図 4】本発明に従って製造されたプラスチック光ファイバの外観図である。

【図 5】階段状の屈折率分布を有するグレーデッドインデックス (G I) 型プラスチック光ファイバの屈折率分布を表すグラフである。

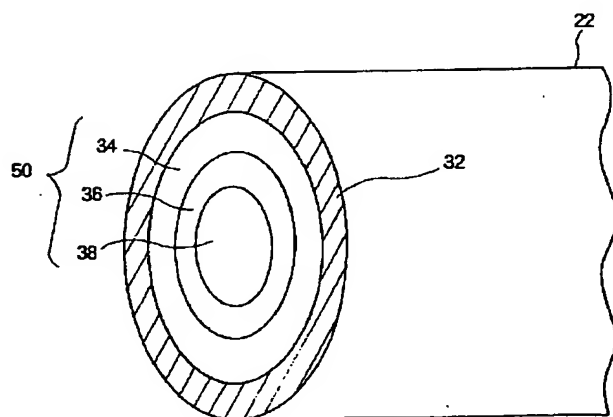
【図 6】 $\Delta n$  の大きな階段状の屈折率分布を有するグレーデッドインデックス (G I) 型プラスチック光ファイバの屈折率分布を表すグラフである。

【図 7】ステップインデックス (S I) 型プラスチック光ファイバの屈折率分布を表すグラフである。

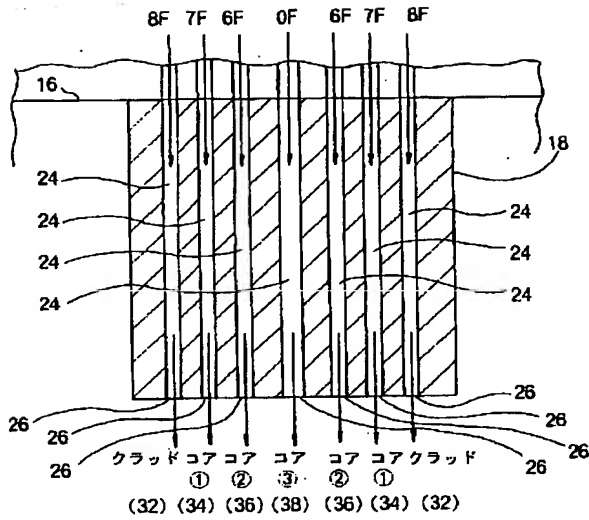
#### 【符号の説明】

10…プラスチック光ファイバ製造装置、12…ポリマーペレット供給装置、14…供給管、16…押し出し装置、18…押し出しダイ、20…巻き取り、22…プラスチック光ファイバ、24…ノズル、26…吐出孔、32…クラッド、34…コア第 1 層、36…コア第 2 層、38…コア第 3 層、50…コア。

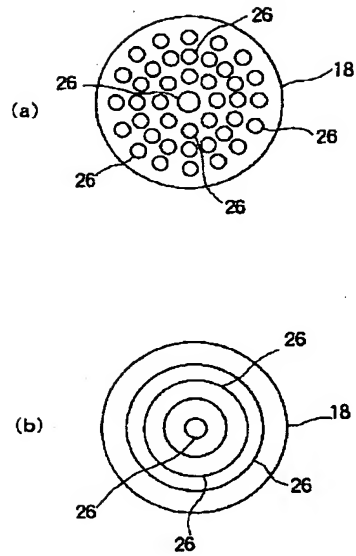
【図 4】



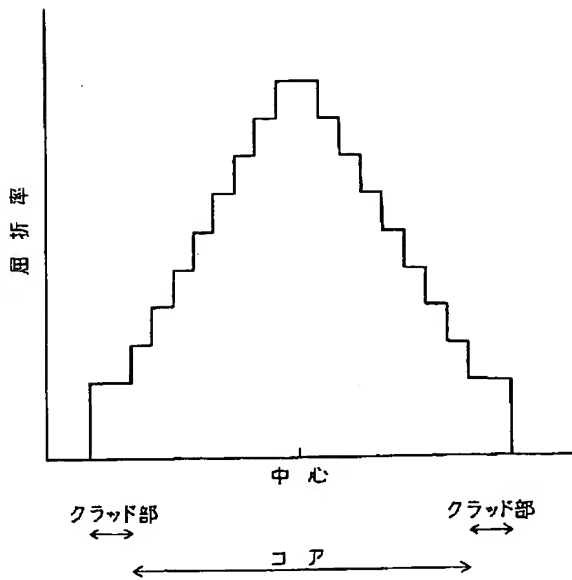
【図 2】



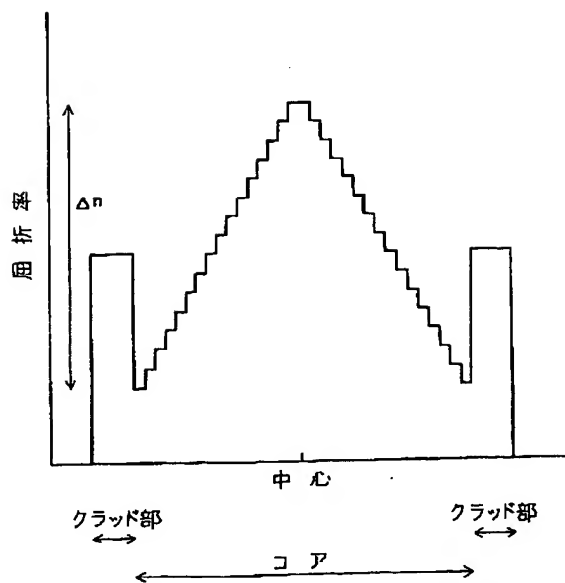
【図 3】



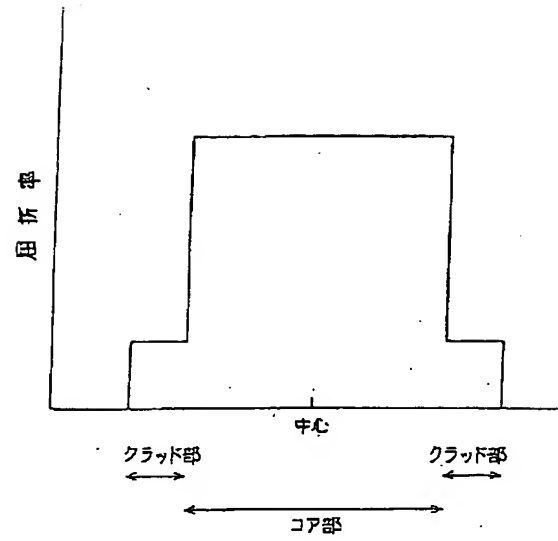
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>

// B 2 9 K 33:00

識別記号

序内整理番号

F I

技術表示箇所